

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
31. Januar 2002 (31.01.2002)

PCT

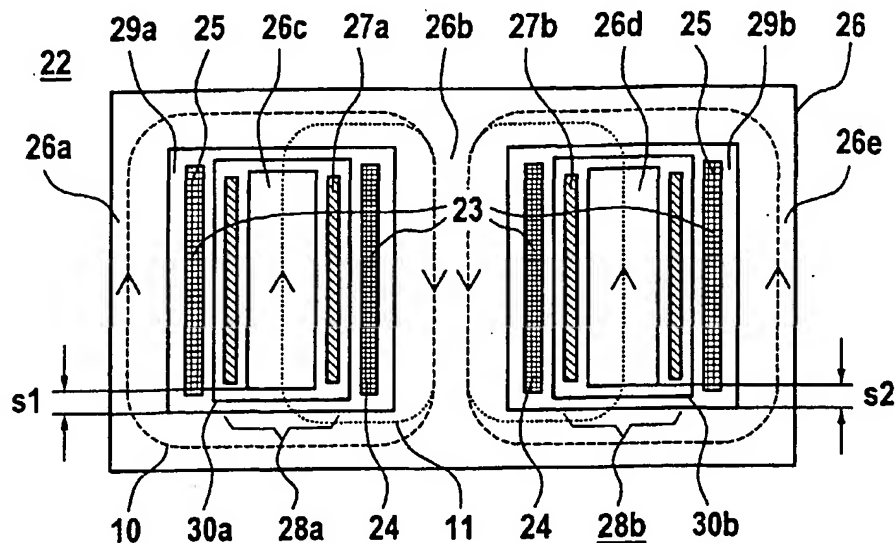
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/09129 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: H01F 36/00, H02H 9/02
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/02550
- (22) Internationales Anmeldedatum: 9. Juli 2001 (09.07.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 100 35 634.6 21. Juli 2000 (21.07.2000) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESellschaft [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): NEUMÜLLER, Heinz-Werner [DE/DE]; Karl-Bröger-Strasse 18, 91080 Uttenreuth (DE). RIES, Günter [DE/DE]; Schobertweg 2, 91056 Erlangen (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESellschaft; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SUPERCONDUCTING DEVICE WITH INDUCTIVE CURRENT LIMITER USING A HIGH-TC SUPERCONDUCTING MATERIAL

(54) Bezeichnung: SUPRALEITUNGSEINRICHTUNG MIT INDUKTIVER STROMBEGRENZEREINHEIT UNTER VERWENDUNG VON HOCH-TC-SUPRALEITERMATERIAL



(57) Abstract: The invention relates to a superconducting device (22) that comprises an inductive current limiter (28a, 29b) with an annular element (27a, 27b) produced from high-Tc superconducting material. The device is further provided with a soft-magnetic yoke leg (26c, 26d) enclosed by said material and with a transformer (23) with primary and secondary windings (24, 25) and a soft-magnetic flux element (26) with a plurality of yoke legs (26a-26e). The magnetic flux element (26) is designed to contain between the primary winding (24) and the secondary winding (25) the yoke leg (26c, 26d) of the current limiter (28), the conductor of one winding (24) producing a switch current for the current limiter (28).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/09129 A1

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Supraleitungseinrichtung (22) weist eine induktive Strombegrenzereinheit (28a, 29b) mit einem Ringkörper (27a, 27b) aus Hoch-Tc-Supraleitermaterial und einem davon umschlossenen weichmagnetischen Jochschenkel (26c, 26d) sowie einen Transformator (23) mit Primär- und Sekundärwicklung (24, 25) und einem weichmagnetischen Magnetflussskörper (26) mit mehreren Jochschenkeln (26a - 26e) auf. Der Magnetflussskörper (26) soll zwischen der Primärwicklung (24) und der Sekundärwicklung (25) des Transformators (23) den Jochschenkel (26c, 26d) der Strombegrenzereinheit (28) enthalten, wobei mit dem Leiter einer Wicklung (24) ein Schaltstrom für die Strombegrenzereinheit (28) erzeugt wird.

Beschreibung

Supraleitungseinrichtung mit induktiver Strombegrenzereinheit unter Verwendung von Hoch- T_c -Supraleitermaterial

5

Die Erfindung bezieht sich auf eine Supraleitungseinrichtung mit mindestens einer induktiven Strombegrenzereinheit, welche wenigstens eine im Begrenzungsfall einen magnetischen Schaltstrom führende Leiterbahn, wenigstens einen der Leiterbahn
10 induktiv zugeordneten Ringkörper aus Hoch- T_c -Supraleitermaterial sowie einen von dem Ringkörper umschlossenen Kernschenkel aus weichmagnetischem Material enthält. Eine entsprechende Supraleitungseinrichtung geht aus der EP 0 353 449 A1 hervor. Ihrer mindestens einen Strombegren-
15 zereinheit kann ein Transformator zugeordnet sein, der eine primäre und eine sekundäre Spulenwicklung sowie einen zugehörigen Magnetflusskörper aus weichmagnetischem Material mit mehreren Jochschenkeln aufweist.

20 In elektrischen Wechselstromversorgungsnetzen können Kurzschlüsse und elektrische Überschläge nicht mit Sicherheit vermieden werden. Dabei steigt der Wechselstrom im betroffenen Stromkreis sehr schnell, d.h. innerhalb der ersten Halbwelle, auf ein Vielfaches seines Nennwertes an, bis er durch
25 geeignete Sicherungs- und/oder Schaltmittel unterbrochen wird. Als Folge davon treten in allen betroffenen Netzkomponenten wie Leitungen, Sammelschienen, Schaltern und Transformatoren erhebliche thermische sowie mechanische Belastungen durch Stromkräfte auf. Da diese kurzzeitigen Lasten mit dem
30 Quadrat des Stromes zunehmen, kann eine sichere Begrenzung des Kurzschlussstromes auf einen niedrigeren Spitzenwert die Anforderungen an die Belastungsfähigkeit der erwähnten Netzkomponenten erheblich reduzieren. Dadurch lassen sich Kostenvorteile erreichen, etwa bei Aufbau neuer als auch beim Aus-
35 bau bestehender Netze, indem durch einen Einbau von Strombegrenzereinheiten ein Austausch von Netzkomponenten gegen höher belastbare Ausführungsformen vermieden werden kann.

Mit supraleitenden Strombegrenzereinheiten kann in an sich bekannter Weise der Stromanstieg nach einem Kurzschluss auf einen Wert von wenigen Vielfachen des Nennstromes begrenzt werden. Darüber hinaus ist eine solche Begrenzereinheit kurze
5 Zeit nach dem Abschaltvorgang wieder betriebsbereit. Sie wirkt also wie eine schnelle, selbstheilende Sicherung. Dabei gewährleistet sie eine hohe Betriebssicherheit, da sie passiv wirkt, d.h. autonom ohne vorherige Detektion die Kurzschlüsse
10 und ohne aktive Auslösung durch ein Schaltsignal arbeitet.

Supraleitende Strombegrenzereinheiten bilden üblicherweise ein seriell in einen Stromkreis einzufügendes Schaltglied. Entsprechende Strombegrenzereinheiten können vom sogenannten
15 resistiven oder induktiven Typ sein. Induktive Strombegrenzereinheiten sind vielfach als Drosselspulen ausgebildet (vgl. z.B. DE 38 29 207 A1 oder EP 0 440 664 B1). Bei diesem Typ wird von einer im Betriebsfall einen Nennstrom führenden Leiterbahn einer Drosselspulenwicklung in einer zugeordneten
20 (sekundären) supraleitenden Wicklung, die kurzgeschlossen ist, ein Abschirmstrom induziert. Diese supraleitende Wicklung kann auch durch einen supraleitenden Kern oder den Teil eines solchen Kerns im Innenraum der Drosselspule gebildet werden. Im Kurzschlussfall wird der von einem entsprechenden
25 Schaltstrom in der supraleitenden Wicklung bzw. dem Kern induzierte Abschirmstrom so groß, dass der kritischen (Abschirm-)Strom des supraleitenden Materials überschritten wird. Dadurch bricht die Tragfähigkeit dieser Wicklung bzw. des Kerns wegen des Normalleitendwerdens des supraleitenden
30 Materials zusammen, wodurch die Induktivität der Drosselspule sprunghaft erhöht und damit der Wechselstromwiderstand in der Leiterbahn der Drosselspule entsprechend auf einen die Strombegrenzung bewirkenden Wert angehoben wird.

35 Aus der eingangs genannten EP-A-Schrift geht eine entsprechende induktive Strombegrenzereinheit hervor. Sie enthält eine vom Nennstrom durchflossene Induktionsspule, die einen

Ringkörper aus Hoch- T_c -Supraleitermaterial umschließt. Dieser Ringkörper besitzt eine zentralsymmetrische, im Innern hohle Form, in der konzentrisch ein Kernschenkel aus weichmagnetischem Material hoher Permeabilität angeordnet ist. Dieser
5 Kernschenkel kann dabei auch Teil eines vollständigen, in sich geschlossenen magnetischen Kreises sein.

Derartige bekannte Strombegrenzereinheiten mit metalloxidischen Hoch- T_c -Materialien (sogenannten „HTS“-Materialien),
10 deren Sprungtemperatur T_c so hoch liegt, dass sie mit flüssigem Stickstoff (LN_2) von höchstens 77 K im supraleitenden Betriebszustand zu halten sind, zeigen eine schnelle Zunahme des elektrischen Widerstandes beim Überschreiten ihrer kritischen Werte. Die damit verbundene Erwärmung in den normalleitenden Zustand und somit die indirekte Auslösung der Strombegrenzung geschehen dabei in hinreichend kurzer Zeit, so dass
15 der Spitzenwert eines Kurzschlussstromes auf einen Bruchteil des unbegrenzten Stromes, etwa auf den 3- bis 10fachen Wert des Nennstromes begrenzt werden kann. Die supraleitenden Teile sollten dabei in gut wärmeleitendem Kontakt mit einem geeigneten Kältemittel stehen, das sie in verhältnismäßig kurzer Zeit nach Überschreitung der kritischen Werte in den supraleitenden Betriebszustand wieder zurück zu führen vermag.
20

25 Soll nun mit einer entsprechenden Strombegrenzereinheit der Strom in dem Stromkreis einer der Spulenwicklungen eines Transformators, deren mindestens ein Leiter einen Jochschenkel eines Magnetflusskörpers aus weichmagnetischem Material umschließt, begrenzt werden, so erfolgt dies nach dem Stand
30 der Technik durch eine Reihenschaltung entsprechender getrennter Bauteile in dem Stromkreis. Der diesbezügliche konstruktive Aufwand ist dementsprechend hoch.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, eine Supraleitungseinrichtung mit den eingangs genannten Merkmalen
35 anzugeben, deren konstruktiver Aufwand vermindert ist.

- Diese Aufgabe wird mit den in Anspruch 1 angegebenen Maßnahmen gelöst. Die Supraleitungseinrichtung nach der Erfindung weist folglich mindestens eine induktive Strombegrenzereinheit auf, welche wenigstens eine im Begrenzungsfall einen
- 5 Schaltstrom führende Leiterbahn, wenigstens einen der Leiterbahn induktiv zugeordneten Ringkörper aus Hoch- T_c -Supraleitermaterial sowie einen von dem Ringkörper umschlossenen Kernschenkel aus weichmagnetischem Material enthält. Ferner weist die Einrichtung einen Transformator auf, der eine primäre und eine sekundäre Spulenwicklung sowie einen zugehörigen Magnetflussskörper aus weichmagnetischem Material mit mehreren Jochschenkeln enthält. Dabei soll der Magnetflussskörper zwischen der primären Spulenwicklung und der sekundären Spulenwicklung mit mindestens einem weiteren Jochschenkel versehen
- 10 sein, der als der Kernschenkel der Strombegrenzereinheit vorgesehen ist, und soll mit dem mindestens einen Leiter einer der Spulenwicklungen die wenigstens eine Leiterbahn der Strombegrenzereinheit gebildet sein.
- 20 Unter einem Ringkörper wird in diesem Zusammenhang ein beliebiger Aufbau aus mindestens einem Element oder Bauteil oder Leiter verstanden, das/der zumindest Hoch- T_c -Supraleitermaterial enthält und einen Kurzschlussring bildet, welcher den zugeordneten, als ein magnetisches Bypasselement wirkenden Jochschenkel des Magnetflusskörpers umschließt.
- 25

- Die mit der erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Supraleitungseinrichtung verbundenen Vorteile sind insbesondere darin zu sehen, dass der magnetische Rückschluss der induktiven
- 30 Strombegrenzereinheit als ein weiterer Jochschenkel in den für die Transformatorspulenwicklungen ohnehin vorzusehenden Magnetflussskörper integriert ist. Damit ist der Aufwand an weichmagnetischem Material entsprechend reduziert. Außerdem ist für die Strombegrenzereinheit keine eigene einen Schaltstrom erzeugende Leiterbahn mehr erforderlich, da der
- 35 Schaltstrom nunmehr von dem mindestens einen Leiter einer der Spulenwicklungen selbst erzeugt wird; d.h., die schaltauslö-

sende Funktion bzgl. des Hoch- T_c -Supraleitermaterials des Ringkörpers wird allein von dem Leiter dieser Spulenwicklung bewirkt.

- 5 Vorteilhafte Ausgestaltungen der Supraleitungseinrichtung nach der Erfindung gehen aus den abhängigen Ansprüchen hervor.

10 So können besonders vorteilhaft die Leiter der Transformatorspulenwicklungen ebenfalls Hoch- T_c -Supraleitermaterial enthalten. In diesem Fall können insbesondere die Spulenwicklungen und die Strombegrenzereinheit in einem gemeinsamen Kryostatengefäß angeordnet sein, das zwei Kältemittelräume enthält, in denen die Wicklung bzw. die Strombegrenzereinheit
15 untergebracht sind. Dies hat den Vorteil, dass sich in den Kältemittelräumen unterschiedliche Temperaturniveaus einstellen können.

20 Besonders vorteilhaft ist es, wenn das Kältemittel in dem Kältemittelraum der Transformatorspulenwicklungen sich auf einem tieferen Temperaturniveau befindet als das Kältemittel in dem Kältemittelraum der Begrenzereinheit. Vorzugsweise sollten sich dabei der Kältemittelraum dieser Spulenwicklungen und der Kältemittelraum der Begrenzereinheit zumindest
25 annähernd auf gleichem Druck (unter Einschluss von Abweichungen des Drucks im Kältemittelraum der Begrenzereinheit von dem Druck in dem Kältemittelraum der Wicklungen um maximal $\pm 10 \%$) befinden. Auf diese Weise kann nämlich die in den Wicklungen infolge von Wechselstromverlusten des Supraleiters
30 entstehende Verlustwärme durch Konvektion abgeführt werden, ohne dass es zu einer unerwünschten Gasbildung durch entsprechendes Verdampfen kommt. So lässt sich eine durch Gasblasen verursachte Verminderung der elektrischen Spannungsfestigkeit, die insbesondere bei Betrieb mit hoher Spannung zu for-
35 dern ist, vermeiden.

Vorteilhaft kann die Supraleitungseinrichtung nach der Erfindung auch eine Strombegrenzereinheit umfassen, die mehrere von supraleitenden Ringkörpern umschlossene Jochschenkel eines Magnetflussskörpers aufweist. Damit ist eine entsprechend große Gestaltungsfreiheit bzgl. des Querschnitts des weichmagnetischen Materials eröffnet.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Supraleitungseinrichtung sind aus den restlichen Ansprüchen und der Zeichnung zu entnehmen.

Zur ergänzenden Erläuterung der Erfindung wird nachfolgend auf die Zeichnung Bezug genommen, in der bevorzugte Ausführungsformen von Supraleitungseinrichtungen nach der Erfindung veranschaulicht sind. Dabei zeigen jeweils in schematischer Darstellung deren

Figur 1 wesentliche Teile einer Supraleitungseinrichtung mit einem Transformator und einer supraleitenden Strombegrenzereinheit in einem Längsschnitt,

Figur 2 Teile einer weiteren Supraleitungseinrichtung mit einem Transformator und einer anderen Strombegrenzereinheit in einem Querschnitt,

Figur 3 Teile einer anderen Supraleitungseinrichtung mit einem warmen Transformator und einer supraleitenden Strombegrenzereinheit in einem Längsschnitt

sowie

deren Figuren 4 und 5 zwei Ausgestaltungsmöglichkeiten des supraleitenden Ringkörpers einer für eine Supraleitungseinrichtung geeigneten Strombegrenzereinheit in Querschnitt- bzw. Schrägansicht.

In den Figuren sind sich entsprechende Teile jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen.

Bei den magnetischen Spulenwicklungen der erfindungsgemäßen Supraleitungseinrichtung handelt es sich um die Primär- und Sekundärwicklung eines Transformators unter Verwendung von vorzugsweise supraleitenden Leitern (vgl. z.B.

- WO 00/16350 A). Die Leiter der gegebenenfalls in mehrere Teilwicklungen unterteilten Transformatorspulenwicklungen brauchen jedoch nicht unbedingt supraleitendes, insbesondere Hoch- T_c -supraleitendes Material aufzuweisen. Auch normalleitendes Material ist als Leitermaterial geeignet. Dem Stromkreis mindestens einer der Transformatorspulenwicklungen, vorzugsweise der primären Wicklung, soll mindestens eine induktive Strombegrenzereinheit zugeordnet sein. Selbstverständlich können auch mehrere Strombegrenzereinheiten vorgesehen werden. Für die Supraleitungseinrichtung nach der Erfindung geeignete Strombegrenzereinheiten basieren auf bekannten Ausführungsformen und deren Funktionsweise (vgl. z.B. die DE 39 19 465 A1 oder die EP 0 353 449 A1).
- 15 Als Leitermaterial für die supraleitenden Teile der Strombegrenzereinheit und gegebenenfalls der Spulenwicklung kommt insbesondere oxidisches HTS-Cupratmaterial wie $YBa_2Cu_3O_x$ oder $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$ oder $(Bi,Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_z$ in Frage. Für den Leiter einer eventuellen HTS-Spulenwicklung kann beispielsweise
- 20 $(Bi,Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_z$ -Material gewählt werden. Die konkrete Wahl des Materials hängt dabei von den Herstellungsprozessen der einzelnen Teile ab oder wird in Abhängigkeit von der jeweiligen Betriebstemperatur gewählt.
- 25 In Figur 1 ist eine erste Ausführungsform einer Supraleitungseinrichtung nach der Erfindung angedeutet. Diese allgemein mit 2 bezeichnete Einrichtung enthält einen beispielsweise supraleitenden, insbesondere einen HTS-Transformator 3 mit einer primären- und einer sekundären (Transformator-) Spulenwicklung 4 bzw. 5. Diese Spulenwicklungen umschließen jeweils einen ersten bzw. zweiten Jochschenkel 6a bzw. 6b eines dreischenkligigen Magnetflusskörpers 6 (bzw. Magnetkerns) aus weichmagnetischem Material, wie er z.B. vom Transformatorbau her bekannt ist. Erfindungsgemäß soll der Magnetflusskörpers zwischen der primären Spulenwicklung und der sekundären Spulenwicklung mit mindestens einem weiteren Jochschenkel
- 35 versehen sein, der als ein zu einer Strombegrenzereinheit ge-

hörender Jochschenkel anzusehen ist. Dementsprechend weist bei der dargestellten Ausführungsform der Magnetflusskörper 6 zwischen seinen beiden äußeren Jochschenkeln 6a und 6b als dritten (weiteren) Jochschenkel einen mittleren oder zentralen Jochschenkel 6c auf. Dieser Jochschenkel 6c ist in bekannter Weise von einem Ringkörper 7 aus HTS-Material in Form eines entsprechenden Hohlzylinders umschlossen. Er bildet zusammen mit dem Ringkörper 7 den wesentlichen Teil einer Strombegrenzereinheit 8. Diese Strombegrenzereinheit weist abweichend von der aus der genannten EP 0 353 449 A1 entnehmbaren induktiven Strombegrenzereinheit keine eigene, im Begrenzungsfall einen Schaltstrom, insbesondere Kurzschlussstrom, führende Leiterbahn auf. Vielmehr wird diese Leiterbahn durch die Primärwicklung 4 des Transformators 3 gebildet. Diese mit mindestens einem für einen Nennstrom ausgelegten Leiter aufgebaute Wicklung erzeugt im ungestörten Betriebsfall in dem Magnetflusskörper 6 einen magnetischen Wechselfluss in einem geschlossenen Magnetflusskreis, in dem sich die beiden der Primärwicklung 4 bzw. der Sekundärwicklung 5 zugeordneten Jochschenkel 6a bzw. 6b befinden. In der Figur ist dieser im Betriebsfall vorhandene magnetische Fluss zwischen Primär- und Sekundärwicklung über die Jochschenkel 6a und 6b durch eine gestrichelte, gepfeilte Linie 10 angedeutet. Im supraleitenden Ringkörper 7 wird dabei ein Ringstrom bzw. Abschirmstrom induziert, der verhindert, dass magnetischer Fluss durch den von ihm umschlossenen Jochschenkel 6c fließen kann.

In einem Begrenzungsfall (Kurzschlussfall bzw. Schaltfall) übersteigt der in dem Ringkörper induzierte Strom den kritischen Wert des HTS-Materials, so dass dieses normalleitend wird (sogenannter „Quench“). Die Folge davon ist, dass nunmehr magnetischer Fluss durch den Jochschenkel 6c gehen kann. Der von der Primärwicklung 4 hervorgerufene, durch den zugeordneten Jochschenkel 6a gehende magnetische Fluss kann sich jetzt über den Jochschenkel 6c schließen, bevor er den Bereich des der Sekundärwicklung 5 zugeordneten Jochschenkels

6b erreicht. Dieser Schenkel 6c bildet also quasi einen magnetischen Bypass für den von der Primärwicklung 4 erzeugten Magnetfluss bezüglich der Sekundärwicklung 5. Der magnetische Fluss dieses Bypass' ist in der Figur durch eine punktierte, gepfeilte Linie 11 angedeutet. Bei aktiviertem magnetischen Bypass ist also praktisch kein Nettofluss durch die Sekundärwicklung vorhanden; d.h. die Sekundärspannung ist dann auf einen minimalen Restwert zurückgegangen. Die Strombegrenzeinheit 8 befindet sich also im Begrenzerbetrieb.

10

Selbstverständlich ist die Supraleitungseinrichtung nach der Erfindung nicht auf einen weichmagnetischen Magnetflussskörper bzw. Jochkern beschränkt, der nur einen einzigen zusätzlichen Jochschenkel als magnetisches Bypasselement mit einem HTS-Ringkörper aufweist. Eine Ausführungsform mit zwei solcher Bypasselemente zeigt Figur 2. Die allgemein mit 12 bezeichnete Supraleitungseinrichtung enthält dementsprechend einen Magnetflussskörper 16 mit zwei zusätzlichen, als magnetische Bypasselemente dienenden Jochschenkeln 16c und 16d, die jeweils von einem hohlzylindrischen Ringkörper 17a bzw. 17b aus HTS-Material umschlossen sind. Bei der gezeigten Ausführungsform des Magnetflussskörpers 16 ist die Primärwicklung 14 eines Transformators um einen mittleren Jochschenkel 16b angeordnet. Die Sekundärwicklung 15 dieses Transformators umschließt dann nicht nur die Primärwicklung 14, sondern auch die beiden seitlich davon angeordneten Jochschenkel 16c und 16d mit ihren HTS-Ringkörpern 17a bzw. 17b. In der Figur sind ferner noch die beiden äußeren Seitenteile 16a und 16e des Magnetflussskörpers 16 ersichtlich.

30

Für die in Figur 2 gezeigte Ausbildung eines Transformators mit sich umschließender Primär- und Sekundärwicklung kann anstelle der gezeigten beiden Bypasselemente 16c und 16d selbstverständlich auch nur ein einziges derartiges Element oder auch noch eine größere Anzahl von solchen Elementen in dem zwischen dem mittleren Jochschenkel 16b und den beiden äußeren Jochschenkeln 16a bzw. 16e ausgebildeten Streuspalt

35

20 angeordnet sein. Die Summe der Querschnitte an weichmagnetischem Material muss dabei den gesamten Primärfluss tragen können, also in etwa gleiche Größe wie der Transformatorkern selbst haben.

5

Vorteilhaft sind die Primär- und/oder Sekundärwicklung eines Transformators aus supraleitenden Leitern, insbesondere aus HTS-Leitern gefertigt. Im Fall einer Verwendung von HTS-Material für die Leiter braucht dabei nicht unbedingt das Material des HTS-Ringkörpers 7, 17a, 17b identisch mit dem für die Leiter der mindestens einen Wicklung zu sein. Zweckmäßig werden alle supraleitenden Teile in einem gemeinsamen Kryostatengefäß untergebracht, wobei gegebenenfalls diskrete Kältemittelräume für den mindestens einen Ringkörper und die mindestens eine Spulenwicklung vorgesehen werden. Dies hat den Vorteil, dass sich in den Kältemittelräumen unterschiedliche Temperaturniveaus aber insbesondere auf gleichem Druck einstellen können. Dabei kann es zweckmäßig sein, wenn die Kältemittelräume untereinander in einer Kältemittelverbindung stehen. Denn damit ist vorteilhaft ein Austausch des Kältemittels zwischen den beiden eventuell auf differierenden Temperaturniveaus befindlichen Kältemittelräumen möglich.

Neben einer Verwendung von supraleitendem, insbesondere HTS-Material für die mindestens eine Spulenwicklung einer erfindungsgemäßen Supraleitungseinrichtung kann auch normalleitendes, gekühltes oder nicht-gekühltes Leitermaterial für die Wicklung vorgesehen werden. Figur 3 zeigt ein entsprechendes Ausführungsbeispiel einer Supraleitungseinrichtung 22 mit einem Transformator 23, der eine Primärwicklung 24 und eine Sekundärwicklung 25 aus normalleitenden, nicht-gekühlten Leitern enthält. Ein verwendeter Magnetflussskörper 26 weist einen mittleren Jochschenkel 26b und zwei äußere Jochschenkel 26a und 26e auf. In jedem der Zwischenräume 28a bzw. 29b zwischen dem mittleren Jochschenkel 26b und den beiden äußeren Jochschenkeln 26a bzw. 26e befindet sich ein weiterer Jochschenkel 26c bzw. 26d als magnetisches Bypasselement. Diese

Elemente sind jeweils von einem hohlzylindrischen HTS-Ringkörper 27a bzw. 27b umschlossen und bilden Strombegrenzereinheiten 28a bzw. 28b. Die HTS-Ringkörper befinden sich zusammen mit ihren zugeordneten Jochschenkeln 26c bzw. 26d jeweils
5 in einem eigenen Kryostaten 30a bzw. 30b. Dies macht es erforderlich, dass zwischen den Stirnseiten der sich in den Kryostaten 30a und 30b befindlichen Jochkörpern 26c bzw. 26d und den jeweils benachbarten, nicht-gekühlten Teilen des Magnetflussskörpers 26 ein geringer Spalt s1 bzw. s2 vorhanden
10 sein muss. Dieser Spalt beeinträchtigt jedoch die magnetische Bypass-Funktion der Jochschenkel 26c bzw. 26d nicht. Die Kryostatenwände müssen deshalb aus einem nicht-magnetischen, elektrisch schlecht leitenden Material wie z.B. aus Edelstahl bestehen, damit in ihnen keine Windungsspannungen im Normal-
15 betrieb induziert werden können.

Ein Querschnitt durch den gezeigten Aufbau der Supraleitungseinrichtung 22 nach Figur 3 hat in etwa ein Aussehen entsprechend Figur 2. In der Figur 3 sind ferner entsprechend Figur
20 1 die Magnetflusslinien 10 bzw. 11 veranschaulicht.

Weitere Ausgestaltungsmöglichkeiten einer Begrenzereinheit einer Supraleitungseinrichtung nach der Erfindung sind:

- Verwendung eines HTS-Ringkörpers in Form eines Hohlzylinders aus HTS-Massivmaterial oder eines Trägerrohres aus
25 nicht-magnetischem Material wie Keramik, Glas oder Metall, das mit dem HTS-Material als Dünn- oder Dickfilm beschichtet ist.
- Verwendung eines HTS-Ringkörpers in Form einer Kurzschlusswicklung z.B. aus $(\text{Bi}, \text{Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ -HTS-
30 Leitermaterial in einer Ag-Legierungsmatrix mit hohem spezifischem Widerstand von insbesondere $\rho \geq 2 \mu\Omega\text{cm}$. Ein entsprechendes Ausführungsbeispiel ist in Figur 4 in perspektivischer Ansicht angedeutet. Ein als ein magnetisches Bypass-
35 passelement dienender, hohlzylindrisch gestalteter Jochschenkel 36i aus weichmagnetischem Material ist mit zwei supraleitenden Wicklungen 37a bzw. 37b gleicher Windungs-

zahl auf der Innen- und Außenseite bewickelt. Diese Wicklungen bilden einen HTS-Ringkörper 27, indem sie so miteinander verbunden sind, dass sie von einem Strom in entgegengesetzter Richtung durchflossen werden. Bei dieser Ausführungsform befindet sich die Primärwicklung mit einem Jochschenkel eines Magnetflusskörpers innerhalb des magnetischen Bypasselementes bzw. Jochschenkels 36i, während eine Sekundärwicklung um diesen Schenkel angeordnet ist. Der Hauptfluss des Transformators induziert keinen Strom; nur ein Streufluss wird abgeschirmt. Bei einem Kurzschluss geht das supraleitende Material in den normalleitenden Zustand über, wobei der Magnetfluss sich über den Jochschenkel 36 als magnetischer Bypass schließt. Es ergibt sich ein Aufbau einer Supraleitungseinrichtung ähnlich der nach den Figuren 2 und 3.

- Verwendung eines HTS-Ringkörpers in Form einer Kurzschlusswicklung aus einem HTS-Bandleiter, der auf einem bandförmigen Trägermaterial wie z.B. aus Edelstahl oder einer Ni-Legierung (z.B. aus „Hastelloy“) einen Film aus HTS-Material wie z.B. aus $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ aufweist. Die Kurzschlusswicklung kann beispielsweise entsprechend Figur 4 ausgebildet sein.
- Verwendung eines HTS-Ringkörpers, der aus einzelnen HTS-Elementen zusammengesetzt ist. Ein entsprechendes Ausführungsbeispiel zeigt Figur 5 im Querschnitt. Der mit 47 bezeichnete HTS-Ringkörper umschließt einen als magnetisches Bypasselement dienenden Jochkörper 46i. Er ist aus einzelnen Plattenelementen 47i zusammengesetzt, die untereinander an ihren Kanten über elektrische Verbindungselemente 48i elektrisch leitend zu einem Kurzschlussring verbunden sind. Die Plattenelemente 47i weisen dabei z.B. ein entsprechendes Trägerelement 49 aus einem isolierenden Material wie z.B. einer Keramik oder aus Glas auf, auf dem eine in der Figur durch eine verstärkte Linie dargestellte HTS-Schicht 50 z.B. aus $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ aufgebracht ist. In der Figur sind vier derartige HTS-Plattenelemente 47i zu dem Kurzschlussring zusammengeschaltet; selbstverständlich

kann auch eine andere Anzahl entsprechender Elemente vorgesehen werden.

Patentansprüche

1. Supraleitungseinrichtung

- 5 - mit mindestens einer induktiven Strombegrenzereinheit,
 welche
- a) wenigstens eine im Begrenzungsfall einen Schaltstrom
 führende Leiterbahn,
- b) wenigstens einen der Leiterbahn induktiv zugeordneten
 Ringkörper aus Hoch- T_c -Supraleitermaterial
- 10 c) sowie einen von dem Ringkörper umschlossenen Kernschen-
 kel aus weichmagnetischem Material
 enthält,
- und
- mit einem Transformator, der
- 15 a) eine primäre und eine sekundäre Spulenwicklung sowie
 b) einen zugehörigen Magnetflusskörper aus weichmagneti-
 schem Material mit mehreren Jochschenkeln
 aufweist,
- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- 20 • dass der Magnetflusskörper (6; 16; 26) zwischen der primä-
 ren Spulenwicklung (4; 14; 24) und der sekundären Spulen-
 wicklung (5; 15; 25) des Transformators (3) mit mindestens
 einem weiteren Jochschenkel (6c; 16c, 16d; 26c, 26d; 36i;
 46i) versehen ist, der als der Kernschenkel der Strom-
- 25 begrenzereinheit (8) vorgesehen ist,
- und dass mit dem mindestens einen Leiter einer der Spulen-
 wicklungen die wenigstens eine Leiterbahn der Strombegren-
 zereinheit gebildet ist.

- 30 2. Einrichtung nach Anspruch 1, d a d u r c h g e -
 k e n n z e i c h n e t , dass die Leiter der Spulenwick-
 lungen (24, 25) aus normalleitendem Material bestehen.

3. Einrichtung nach Anspruch 1, d a d u r c h g e -
35 k e n n z e i c h n e t , dass die Leiter der Spulenwick-
 lungen (4, 5; 14, 15) Hoch- T_c -Supraleitermaterial enthalten.

4. Einrichtung nach Anspruch 3, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t , dass die Spulenwicklungen (4, 5;
14, 15) und die Strombegrenzereinheit (8) in einem gemeinsa-
men Kryostatengefäß angeordnet sind.
- 5
5. Einrichtung nach Anspruch 4, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t , dass das Kryostatengefäß zwei
Kältemittelräume enthält, in denen die Spulenwicklungen (4,
5; 14, 15) bzw. die Strombegrenzereinheit (8) untergebracht
10 sind.
6. Einrichtung nach Anspruch 5, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t , dass die Kältemittelräume unter-
einander in einer Kältemittelverbindung stehen.
- 15
7. Einrichtung nach Anspruch 5 oder 6, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , dass sich das Kältemittel in
dem Kältemittelraum der Spulenwicklungen (4, 5; 14, 15) auf
einem tieferen Temperaturniveau befindet als das Kältemittel
20 in dem Kältemittelraum der Strombegrenzereinheit (8).
8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass sich der
Kältemittelraum der Spulenwicklungen (4, 5; 14, 15) und der
25 Kältemittelraum der Strombegrenzereinheit (8) zumindest annä-
hernd auf gleichem Druck befinden.
9. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der min-
30 destens eine supraleitende Ringkörper (27a, 27b) mit seinem
zugeordneten Jochschenkel (26c, 26d) in einem eigenen Kry-
ostaten (30a, 30b) angeordnet ist.
10. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche,
35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die
Strombegrenzereinheit mehrere von supraleitenden Ringkörpern

(17a, 17b; 27a, 27b) umschlossene Jochschenkel (16c, 16d; 26c, 26d) eines Magnetflusskörpers (16; 26) aufweist.

11. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche,
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der mindestens eine supraleitende Ringkörper (7; 17a, 17b; 27a, 27b) aus Hoch-T_c-Supraleiter-Massivmaterial besteht.

12. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, d a -
10 d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der mindestens eine supraleitende Ringkörper (7; 17a, 17b; 27a, 27b) aus einem Trägerrohr besteht, das mit dem Hoch-T_c-Supraleitermaterial beschichtet ist.

13. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, d a -
15 d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der mindestens eine supraleitende Ringkörper (37) durch eine Kurzschlusswicklung aus mindestens einem Hoch-T_c-Supraleiter gebildet ist.

20 14. Einrichtung nach Anspruch 13, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der Leiter der Kurzschlusswicklung in eine Legierungsmatrix eingebettetes oder auf einem bandförmigen Träger aufgebrachtes Hoch-T_c-Supraleitermaterial enthält.
25

15. Einrichtung nach Anspruch 13 oder 14, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Kurzschlusswicklung aus zwei konzentrischen, bifilar verschalteten Teilwicklungen
30 (37a, 37b) gebildet ist, die auf der Innen- bzw. Außenseite eines hohlzylindrischen Jochschenkels (36i) eines Magnetflusskörpers angeordnet sind.

16. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, d a -
35 d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der mindestens eine supraleitende Ringkörper (47) durch eine Kurz-

schlusswindung aus mit Hoch- T_c -Supraleitermaterial beschichteten Plattenelementen (47i) aufgebaut ist.

1/2

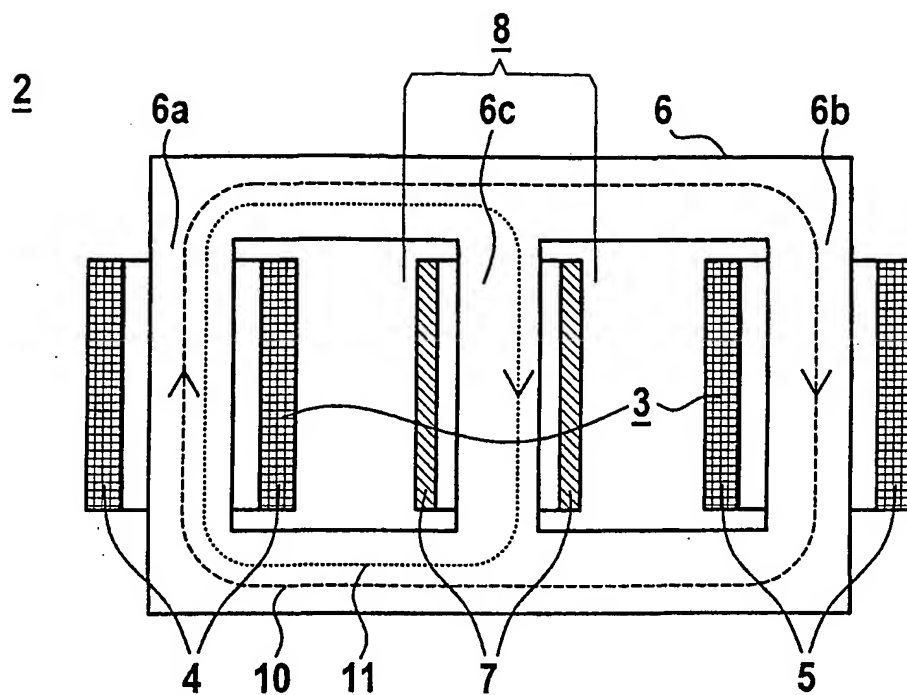


FIG 1

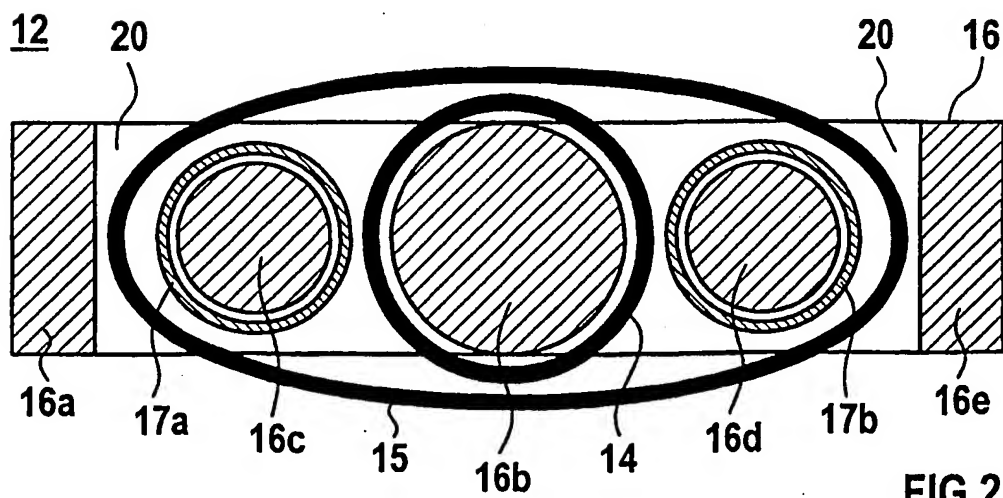


FIG 2

2 / 2

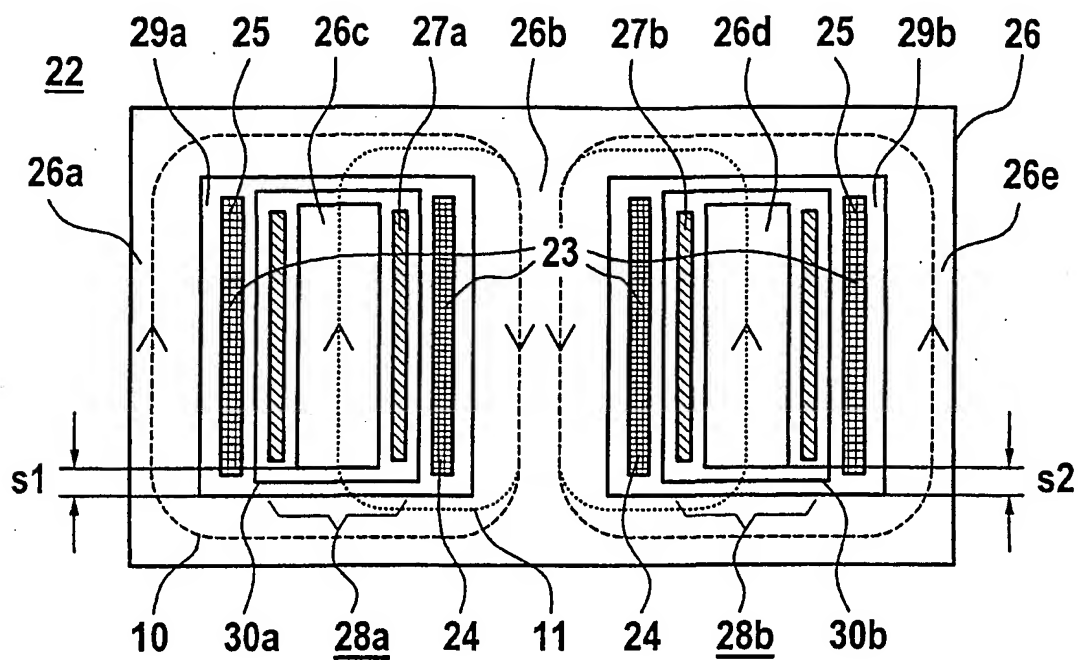


FIG 3

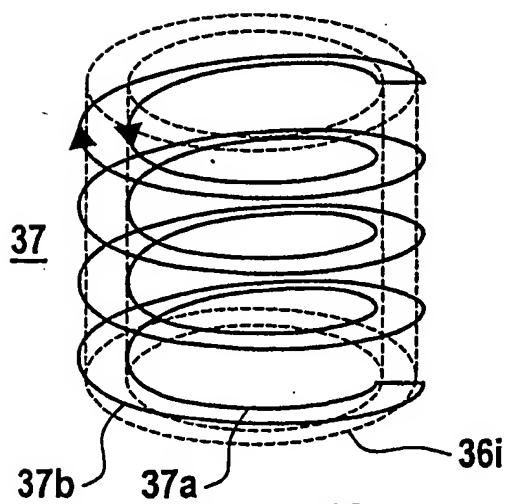


FIG 4

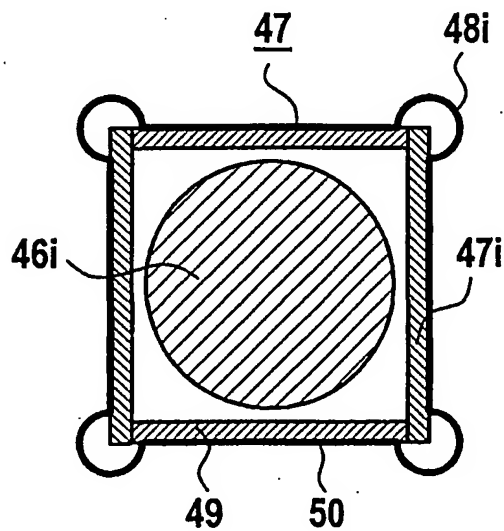


FIG 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern: Application No
PCT, /02550

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01F36/00 H02H9/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H01F H02H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 987 723 A (ALSTOM FRANCE SA) 22 March 2000 (2000-03-22) the whole document	1
A	EP 0 984 462 A (OXFORD INSTR UK LTD) 8 March 2000 (2000-03-08) the whole document	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the International filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

Z document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

23 November 2001

Date of mailing of the International search report

03/12/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Durville, G

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Relation on patent family members

Intern application No

PCT, ... J1/02550

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0987723 A	22-03-2000	FR 2783632 A1	24-03-2000
		AU 4758399 A	23-03-2000
		EP 0987723 A1	22-03-2000
		NO 994484 A	20-03-2000
		US 6292080 B1	18-09-2001
EP 0984462 A	08-03-2000	EP 0984462 A2	08-03-2000
		JP 2000102161 A	07-04-2000
		US 6300856 B1	09-10-2001

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inte s Aktenzeichen
PCT/DE 01/02550

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H01F36/00 H02H9/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H01F H02H

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beir. Anspruch Nr.
A	EP 0 987 723 A (ALSTOM FRANCE SA) 22. März 2000 (2000-03-22) das ganze Dokument	1
A	EP 0 984 462 A (OXFORD INSTR UK LTD) 8. März 2000 (2000-03-08) das ganze Dokument	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

23. November 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

03/12/2001

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Durville, G

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung

ir selben Patentfamilie gehören

Intern: Aktenzeichen

PCT/DE 01/02550

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0987723	A	22-03-2000	FR	2783632 A1	24-03-2000
			AU	4758399 A	23-03-2000
			EP	0987723 A1	22-03-2000
			NO	994484 A	20-03-2000
			US	6292080 B1	18-09-2001
<hr/>					
EP 0984462	A	08-03-2000	EP	0984462 A2	08-03-2000
			JP	2000102161 A	07-04-2000
			US	6300856 B1	09-10-2001
<hr/>					